Commission géologique
du Canada

Recherches en cours
2001-D12

Analyse structurale de l'écaille de Philipsburg, zone de Humber externe des Appalaches du sud du Québec

Stephan Séjourné et Michel Malo

2001

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2001
N° de catalogue M44-2001/D12F
ISBN 0-660-96482-1

En vente à partir du site Web de la Librairie de la Commission géologique du Canada, à l'adresse http://www.rncan.gc.ca/cgc/bookstore (sans frais : 1-888-252-4301)

Les bibliothèques de dépôt d'un bout à l'autre du pays ont accès à la présente publication par l'intermédiaire du site Web du Programme des services de dépôt (http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca).

Prix sujet à changement sans préavis

Les demandes de permission pour reproduire cet article, en tout ou en partie, à des fins d'utilisation commerciale, de revente ou de redistribution doivent être adressées à la Division de l'information du Secteur des sciences de la Terre, pièce 200, 601, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E8.

Addresses des auteurs

S. Séjourné *(ssejourne@nrcan.gc.ca)*
M. Malo *(ess-inrs-mmalo@x1.nrcan.gc.ca)*
INRS-Géoressources,
Centre géoscientifique
de Québec
880, chemin Sainte-Foy,
C.P. 7500, Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

101-03636/

Analyse structurale de l'écaille de Philipsburg, zone de Humber externe des Appalaches du sud du Québec[1]

Stephan Séjourné et Michel Malo
CGC Québec, Québec

Séjourné, S. et Malo, M., 2001 : Analyse structurale de l'écaille de Philipsburg, zone de Humber externe des Appalaches du sud du Québec; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2001-D12, 12 p.

Résumé : La structure principale de l'écaille de Philipsburg est un synclinal régional à orientation nord-nord-ouest, associé à plusieurs plis de dimensions réduites. L'écaille est segmentée au nord par des chevauchements est-ouest et à l'est par des chevauchements nord-nord-est–sud-sud-ouest. Elle est bordée à l'ouest par la ligne de Logan. Six domaines structuraux ont été reconnus d'après la position structurale et le style de déformation. Les relations de recoupement entre les éléments structuraux observés ont permis d'établir les principales étapes de l'histoire tectonique des roches du Groupe de Philipsburg sont 1) plissement régional lors du chevauchement par la nappe de Stanbridge, 2) effondrement local des structures, 3) réactivation des plans de failles préexistants lors de l'écaillage et du transport sur la plate-forme du Saint-Laurent et 4) décrochements tardifs nord-sud et est-ouest.

Abstract: The dominant structure of the Philipsburg thrust slice is a regional north-northeast-trending syncline associated with numerous minor folds. The thrust slice is cut northward by east-west thrusts and eastward by north-northeast thrusts. Westward, it is limited by the Logan's Line. Six structural domains have been identified on the basis of structural position and style of deformation. Crosscutting relationships between observed structural elements can be used to establish the tectonic history of rock units of the Philipsburg Group, as follows: 1) regional folding during overthrusting by the Stanbridge nappe, 2) local collapse of structures, 3) reactivation of pre-existing faults during the tectonic slicing and thrusting over the St. Lawrence platform, and 4) late north-south and east-west transcurrent faulting.

[1] Contribution au Projet de l'avant-pays appalachien et de la Plate-forme du Saint-Laurent du CARTNAT

INTRODUCTION

Le présent article résume les observations de terrain obtenues au cours de l'été 2000 dans l'écaille de Philipsburg dans le cadre du Projet CARTNAT (transect #1). Avec celles de Saint-Dominique et d'Upton, l'écaille de Philipsburg est l'une des rares écailles de roches carbonatées de plate-forme qui affleurent entre la plate-forme du Saint-Laurent et les nappes de la zone de Humber externe des Appalaches du sud du Québec (fig. 1). Ces écailles se situent de part et d'autre du transect Montréal du projet CARTNAT (fig. 1). Leur étude a pour objet de faire le lien entre la géologie de la plate-forme autochtone des basses terres du Saint-Laurent et celle des terrains allochtones appalachiens et permettra en outre d'obtenir une vue globale de la tectonique appalachienne le long de la ligne de Logan. Étant donné que la plupart des écailles sont enfouies sous des nappes allochtones, les résultats obtenus en surface seront bonifiés par les données sismiques disponibles de sorte à contribuer à une meilleure compréhension des processus géologiques à l'échelle de l'orogène ainsi qu'une meilleure évaluation du potentiel réservoir de ces terrains.

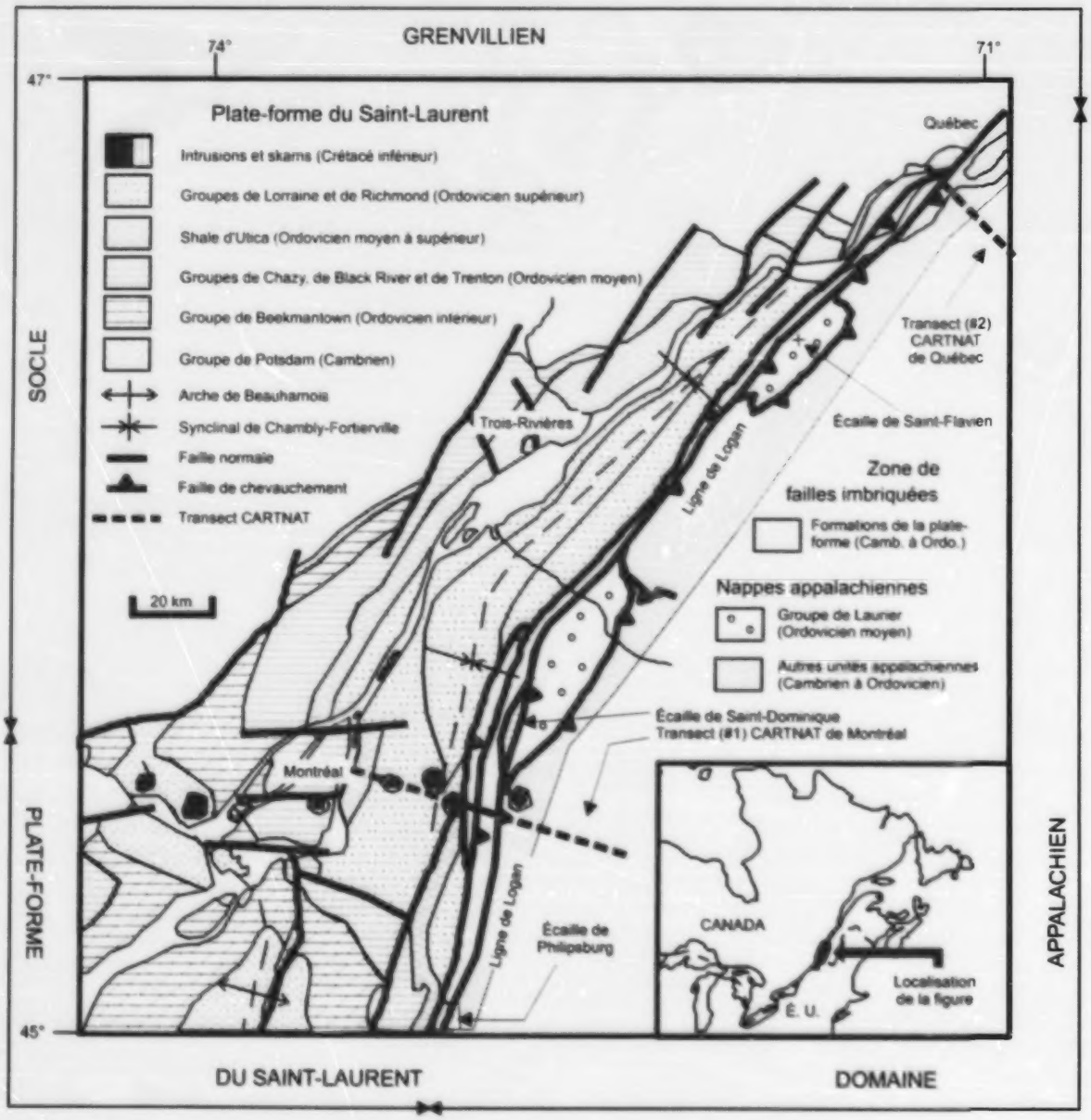

Figure 1. *Géologie générale des basses terres du Saint-Laurent (adaptée de Héroux et Bertrand, 1991).*

Dix formations composent le Groupe de Philipsburg (fig. 2) tel que défini par Globensky (1981). Les roches de ce groupe sont essentiellement constituées de calcaire argileux, silteux et dolomitique. On y rencontre aussi quelques unités entièrement constituées de dolomies (formations de Milton, de Rock River, de Strites Pond inférieure, de Morgan Corner) ou de calcaire pur (formations de Strites Pond supérieure et de Corey). La structure principale de l'écaille est un synclinal régional à orientation nord-nord-est, appelé ici «synclinal de Saint-Armand» (Globensky, 1981), qui est associé à plusieurs plis de dimensions réduites. L'écaille est segmentée à l'est et au sud par des chevauchements nord-nord-est et au nord par des chevauchements est-nord-est. Le Groupe de Philipsburg repose en contact tectonique sur les formations de Sainte-Sabine et d'Iberville le long de la ligne de Logan (fig. 3) et est chevauché à l'est par la nappe de Stanbridge. Charbonneau (1980) reconnaît dans les roches de l'écaille deux phases de déformation. La première est associée au chevauchement des roches du Groupe de Philipsburg par celles de la nappe de Stanbridge, la seconde correspondrait à l'écaillage des roches du Groupe de Philipsburg et leur chevauchement vers l'ouest-nord-ouest sur la Formation de Sainte-Sabine. La présente étude vise 1) à caractériser les variations du style de déformation dans l'écaille en fonction de la position structurale (six domaines structuraux ont été identifiés) et de la lithologie encaissante, 2) à établir la chronologie des divers épisodes de déformation, et 3) à intégrer ces informations dans le cadre tectono-stratigraphique régional. Une attention particulière est accordée à l'étude de la fracturation afin d'établir une analogie avec l'évolution de la porosité des fractures dans les écailles situées en profondeur et de mieux en évaluer le potentiel réservoir.

DOMAINE I : SYNCLINAL DE SAINT-ARMAND

La structure principale de l'écaille est un synclinal régional (fig. 3) dissymétrique, ouvert, d'axe calculé 016 /22 N (fig. 4), dont le flanc sud-est est subvertical.

Les travaux de Globensky (1981) et les traverses que nous avons effectuées perpendiculairement à l'axe du synclinal de Saint-Armand n'ont pas révélé de plis parasites ou de redoublement tectonique sur le flanc ouest du pli. La régularité de ce flanc semble cependant être perturbée le long de la frontière américaine, où Charbonneau (1980) suggère la présence d'une charnière anticlinale et d'une faille inverse pour expliquer la disposition atypique de la Formation de Morgan Corner entre celles de Strites Pond et de Wallace Creek. Or, nos travaux ne révèlent aucune variation dans l'attitude du litage à cet endroit. De même, aucune déformation associée à la présence d'une faille n'a été reconnue. Nous suggérons donc qu'à cet endroit, les roches de la Formation de Morgan Corner reposent en contact stratigraphique normal sur celles de la Formation de Strites Pond et sont interstratifiées avec les roches de la Formation de Wallace Creek. Une telle relation entre les roches des formations de Wallace Creek et de Morgan Corner a déjà été observée par Globensky (1981) entre les carrières Omya Saint-Armand et Saint-Armand (fig. 3).

<table>
<tr><th>Sys.</th><th>Série</th><th>Plate-forme du Saint-Laurent</th><th colspan="2">Écaille de Philipsburg</th><th colspan="2">Nappe de Stanbridge</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Ordovicien</td><td>Tardif</td><td>(Osb) F. de Sainte-Sabine | (Oib) F. d'Iberville</td><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Moyen</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">Groupe de Stanbridge</td><td>Unité supérieure
Unité intermédiaire de rythmites</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Précoce</td><td rowspan="2">Groupe de Philipsburg</td><td rowspan="2">F. de Corey (Ocy)
F. de Solomons Corner (Osc)
F. de Luke Hill (Olk)
F. de Naylor Ledge (Onl)
F. de Hastings Creek (Ohc)
F. de Morgan Corner (Omc)
F. de Wallace Creek (Owc)
F. de Strites Pond (Osp)
F. de Rock River (€rr)</td><td>Séquence inférieure (Ost(i))
Séquence inférieure à conglomérat (Ost(i)1)</td></tr>
<tr><td>Cambrien</td><td>Tardif</td><td></td><td>F. de Milton (€mi)</td><td></td></tr>
</table>

Figure 2. *Unités stratigraphiques des secteurs des basses terres du Saint-Laurent, de l'écaille de Philipsburg et de la nappe de Stanbridge. En italique : légende des noms de formations utilisés à la figure 3. F. = Formation; Sys. = Système. Figure adaptée de Charbonneau (1980) et de Globensky (1981).*

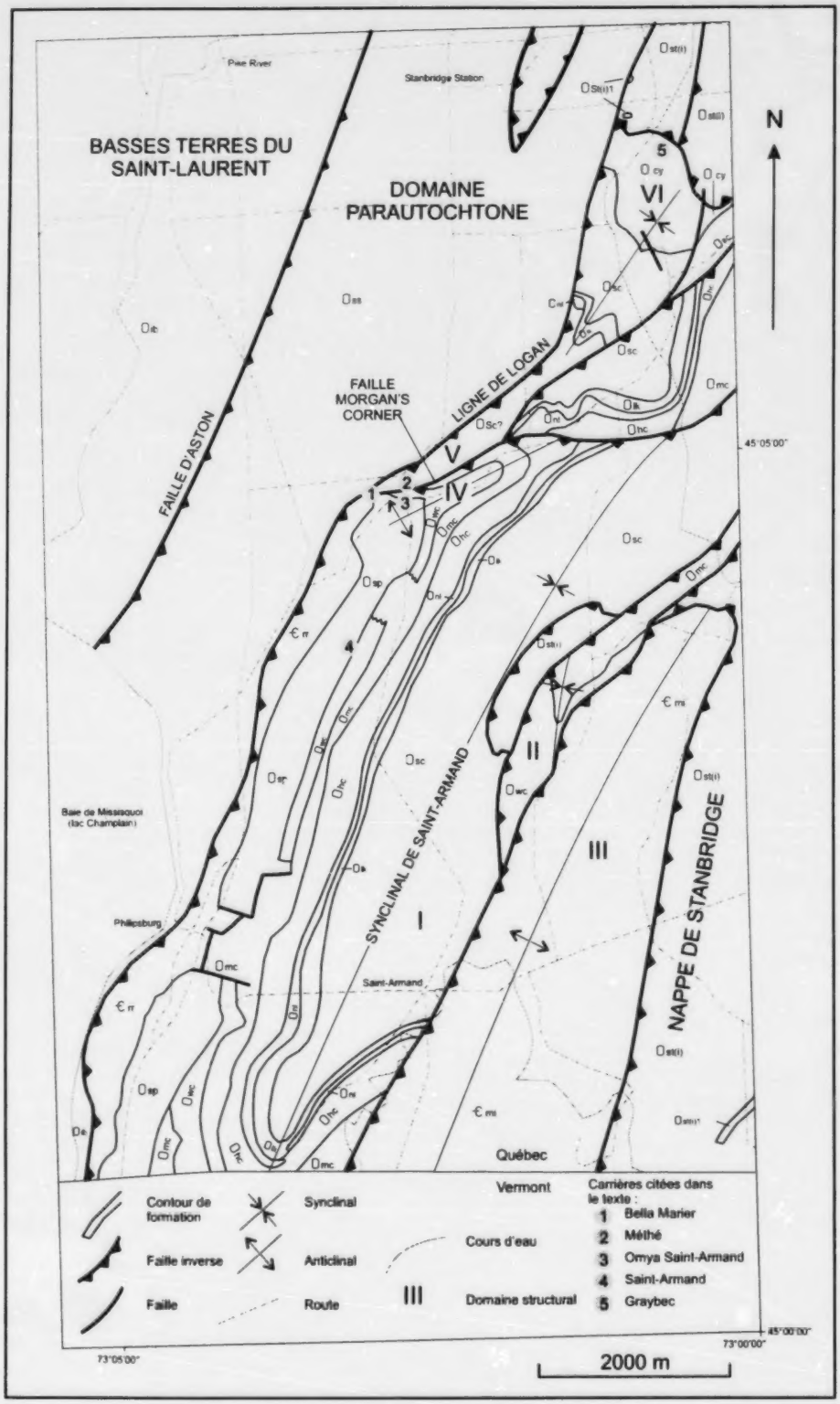

Figure 3. *Carte géologique de l'écaille de Philipsburg montrant les limites des formations (voir la figure 2), les failles et plis majeurs d'après Globensky (1981), et les six domaines structuraux (de I à VI) définis dans le cadre de la présente étude. F. = Formation.*

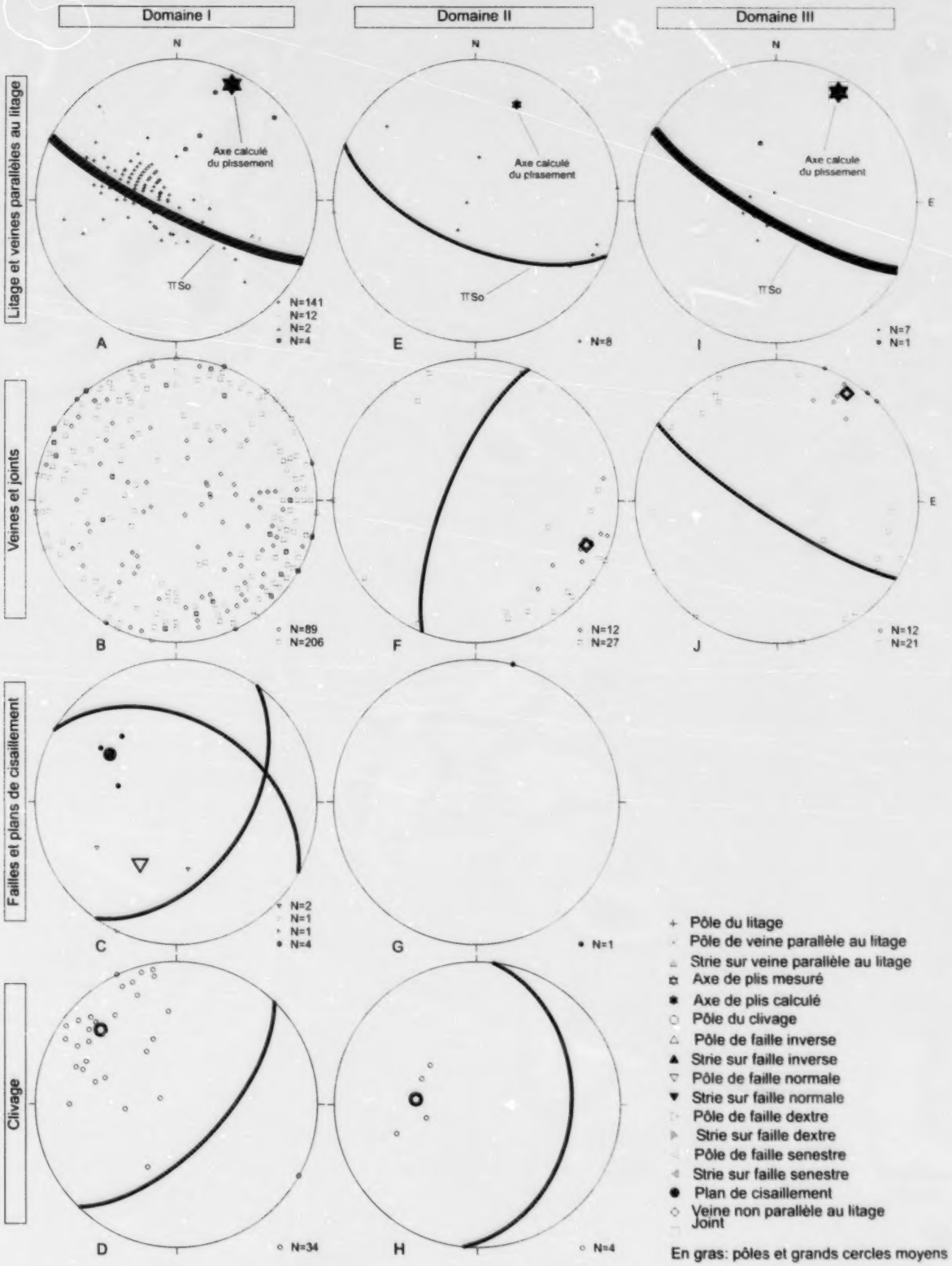

Figure 4. *Synthèse des données structurales obtenues pour les domaines I à III. Projection équivalente de Schmidt, hémisphère inférieur.*

Déformations liées à la ligne de Logan

Le contact entre la Formation de Rock River et celle de Sainte-Sabine le long de la ligne de Logan est visible dans un affleurement dans le village de Philipsburg. Les roches de la Formation de Sainte-Sabine y sont intensément foliées (045°/20°N) et parcourues de veines et de veinules sur une épaisseur qui n'a pu être déterminée. À cet endroit, la dolomie de la Formation de Rock River est caractérisée par une foliation intense qui disparaît moins de 1 m au-dessus du contact avec la Formation de Sainte-Sabine. À cette zone foliée succèdent une brèche tectonique et des veines de dolomite à texture fasciculaire qui présentent deux remplissages distincts, soit un ciment gris clair aux épontes auquel succède un ciment gris sombre à noir au cœur. La régularité des épontes écarte la possibilité d'une origine diagénétique précoce de ces veines par le développement de minéraux à croissance displacive. La brèche tectonique et les veines recoupent une brèche synsédimentaire ainsi que des roches ayant subi une dolomitisation sélective dont on peut reconnaître l'effet dans toute la Formation de Rock River. La brèche tectonique disparaît progressivement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la ligne de Logan et disparaît avant le sommet de la formation. La densité des veines à texture fasciculaire diminue de la même façon mais perdure jusque dans la Formation de Strites Pond. Les veines sont sans orientation préférentielle et couramment ramifiées dans la Formation de Rock River; elles deviennent peu à peu rectilignes, parallèles entre elles et non ramifiées dans la Formation de Strites Pond. Le ciment sombre au cœur des veines est également plus rare dans les dolomies de la Formation de Strites Pond.

Déformations liées au plissement régional

Le clivage régional qui touche les roches du synclinal est de type pression-dissolution. Il est particulièrement bien développé dans le calcaire argileux des formations de Wallace Creek et de Solomons Corner, mais on le reconnaît aussi dans les unités les plus argileuses des formations de Hastings Creek et de Strites Pond. Il devient subparallèle au litage dans les lits argileux de cette dernière formation. Son attitude moyenne (044°/64°N) fait penser qu'il s'agit d'un clivage de plan axial (fig. 4D).

Deux types de veines attribués au plissement ont été reconnus dans les roches du domaine I : des veines parallèles au litage et des veines non parallèles au litage. Ces dernières ainsi que les joints se rencontrent surtout dans les unités dolomitiques. Elles sont beaucoup moins abondantes dans le calcaire massif et rares dans les autres types lithologiques. L'orientation aléatoire des veines et des joints (fig. 4B) ne permet pas de les regrouper au sein de familles distinctes. Les traverses effectuées suggèrent que cette hétérogénéité existe dans l'ensemble du synclinal et est contrôlée par la lithologie de l'encaissant plutôt que par la distance par rapport à la ligne de Logan. On reconnaît toutefois une famille de joints majeurs parallèles à l'axe du pli (010°/90°N, n=7). Ces joints forment parfois des diaclases et des crevasses profondes de plusieurs mètres qui s'apparentent à un karst. Peu de relations de recoupement sont visibles entre les veines associées au plissement. En revanche, celles-ci recoupent systématiquement les veines dolomitiques à texture displacive associées à la ligne de Logan.

Des veines parallèles au litage (fig. 4A) sont présentes dans le calcaire argileux des formation de Wallace Creek et de Solomons Corner, et au contact entre les lits argileux et les bancs de calcaire pur de la Formation de Strites Pond. Elles ont été observées surtout dans la moitié nord du synclinal, en bordure de la ligne de Logan et à proximité de la charnière du pli régional, et sont plus abondantes dans la Formation de Strites Pond que dans les autres formations. Elles sont composées d'une seule lamine et présentent rarement des stries. Aux endroits où elles sont striées, elles témoignent d'un mouvement inverse vers le front de l'écaille (115°/40°N, fig. 4A). Des plis d'entraînement d'échelle centimétrique à décimétrique et des plans de cisaillement millimétriques à centimétriques sont associés aux veines parallèles au litage dans les lits argileux de la Formation de Strites Pond. Les premiers ont un axe de 020°/30°N et sont déversés vers l'avant-pays et compatibles avec le sens du glissement banc-sur-banc révélé par les veines parallèles au litage. Les plans de cisaillement sont orientés 035°/48°N et segmentent le litage selon un mouvement normal vers l'arrière-pays.

Peu de failles ont été observées dans le synclinal de Saint-Armand. Elles sont concentrées surtout près de la ligne de Logan dans la Formation de Rock River et il n'est pas possible d'en déterminer une orientation préférentielle (fig. 4C).

DOMAINES II ET IiI : SYNCLINAL MINEUR ET FORMATION DE MILTON

Le flanc est du synclinal de Saint-Armand est fortement redressé et chevauché au sud par l'anticlinal de la Formation de Milton (domaine III, fig. 3). Celui-ci est très ouvert, légèrement déjeté vers le nord-ouest et orienté parallèlement au synclinal de Saint-Armand (domaine I, fig. 4A). Une seule famille de veines y a été observée. Les veines sont perpendiculaires à l'axe du pli (123/80°N, fig. 4J) et cimentées par du quartz. Des veines de quartz sont également observées dans le cœur du synclinal de Saint-Armand à proximité du chevauchement, où elles sont recoupées par des veines de calcite et des plans de cisaillement dextres à orientation nord-sud.

Plus au nord, la Formation de Milton chevauche un petit synclinal constitué des formations de Wallace Creek et de Morgan Corner (domaine II, fig. 3), qui chevauche lui-même le synclinal de Saint-Armand ainsi qu'une klippe de la nappe de Stanbridge (fig. 3). Ce petit synclinal est ouvert et symétrique et sont attitude est de 023°/27°N (fig. 4E). Un clivage est développé dans le calcaire argileux de la Formation de Wallace Creek; il s'agit d'un clivage subparallèle au plan axial (006°/55°, fig. 4H) subparallèle à celui du synclinal de Saint-Armand (fig. 4D). Aucune fracture ou plan de glissement banc-sur-banc ne sont reconnus dans le calcaire argileux de la Formation de Wallace Creek, même aux endroits où cette unité est directement chevauchée par la

Formation de Milton. À l'inverse, la Formation de Morgan Corner est intensément fracturée au point qu'il est impossible de distinguer les fractures associées au plissement de celles liées au chevauchement. On y reconnaît toutefois une famille de veines parallèles à l'axe du pli (202°/73°N, fig. 4F).

DOMAINES IV ET V : TOIT ET MUR DE LA FAILLE DE MORGAN'S CORNER

La partie nord de l'écaille (fig. 3) a été touchée par de nombreux chevauchements (Charbonneau, 1980; Globensky, 1981). La plus importante de ces failles est celle qui marque le contact entre les unités du synclinal de Saint-Armand et la Formation de Solomons Corner. Elle est particulièrement bien exposée à Morgan's Corner et, pour cette raison, elle est appelée ici «faille de Morgan's Corner». Trois carrières, Omya Saint-Armand, Bella Marier et Méthé (fig. 3), situées à Morgan's Corner, permettent d'étudier les déformations associées au toit de ce chevauchement, au chevauchement lui-même et à son mur.

Toit de la faille de Morgan's Corner (domaine IV)

Les unités du toit de la faille de Morgan's Corner semblent peu déformées. Les structures dominantes y sont caractéristiques de la ligne de Logan (veines à texture fasciculaire dans la Formation de Rock River) et du synclinal de Saint-Armand (cisaillements et veines parallèles au litage dans la Formation de Strites Pond). À proximité du plan de faille, le litage ondule faiblement dans la Formation de Strites Pond selon une direction nord-nord-ouest à nord-est, dessinant un anticlinal et un synclinal très ouverts superposés au flanc ouest du synclinal de Saint-Armand (domaine I). Les veines parallèles au litage sont abondantes. Leur sens d'ouverture n'a pu être déterminé, mais elles sont continues de part et d'autre de la charnière de l'anticlinal. En outre, les plans de cisaillement déjà observés dans les lits argileux de la Formation de Strites Pond dans le synclinal de Saint-Armand sont également présents dans l'anticlinal, avec une attitude moyenne légèrement différente. Cela laisse penser que les veines parallèles au litage et les plans de cisaillement se sont développés avant les plis superposés au synclinal de Saint-Armand dans le toit de la faille de Morgan's Corner.

Sur le flanc sud de l'anticlinal (domaine IV, fig. 3) reconnu par Globensky (1981), à proximité de la carrière Omya Saint-Armand, un important réseau de veines subverticales et de veines parallèles au litage est développé dans la Formation de Wallace Creek. Les veines parallèles au litage sont décamétriques et composées d'au moins une lamine. Elles se sont ouvertes dans les lits les plus argileux, succédant souvent à des veines sigmoïdales. La géométrie en marches d'escalier des épontes et l'orientation des stries (175°/25°N, fig. 5A) indiquent que les veines parallèles au litage se sont ouvertes selon un mouvement inverse vers le nord-nord-est. Cette direction est compatible avec un glissement banc-sur-banc associé au développement de l'anticlinal ou au chevauchement vers le nord-nord-ouest. Les veines parallèles au litage sont recoupées par deux familles de veines subverticales (165°/55°N, n=16, et 243°/77°, n=9; fig. 5B), suggérant qu'une période de relâchement des contraintes a succédé au décollement, à un moment où les fluides étaient encore disponibles en quantité suffisante pour sceller les fractures.

Faille de Morgan's Corner

Le chevauchement est exposé dans la carrière Bella Marier. Le contact entre les formations de Rock River (toit) et de Solomons Corner (mur) est difficile à reconnaître tant les deux unités ont été intensément recristallisées. Sur plusieurs mètres d'épaisseur au sein de la zone de faille, on ne reconnaît plus, dans la Formation de Rock River, les fronts de dolomitisation sélective ou les veines à texture fasciculaire observées à bonne distance de la faille, qui est localement soulignée par une salbande. Sur une dizaine de mètres d'épaisseur dans le mur du chevauchement, on reconnaît encore des failles et des plans de cisaillement inverses qui sont compatibles avec un mouvement chevauchant vers le nord. Ces structures sont absentes dans le toit.

Mur de la faille de Morgan's Corner (domaine V)

Contrairement au pendage modéré vers l'est des unités du toit, les couches du mur du chevauchement sont plissées selon un axe de 078°/20°N (litage et veines parallèles au litage, n=102, fig. 5D) en un synclinal et un anticlinal très serrés, à flancs subverticaux et légèrement inverses. La charnière anticlinale est segmentée par des failles inverses à jeu décimétrique qui disparaissent latéralement au profit de plis symétriques. Le synclinal, plus proche du chevauchement, est beaucoup moins bien conservé. Il peut cependant être reconstitué d'après l'attitude du litage et la présence de plis mineurs dans la charnière, qui est découpée par des failles inverses. Des plis en Z, à amplitude centimétrique à décimétrique et à axe de 095°/38°N (fig. 5D), se rencontrent dans le flanc sud du synclinal. Un clivage pénétratif de type pression-dissolution (069°/67°N, fig. 5G), parallèle à l'axe des plis, touche les bancs les plus argileux de la Formation de Solomons Corner.

Des veines à texture fasciculaire similaires à celles observées dans la Formation de Rock River à proximité de la ligne de Logan sont présentes dans le membre dolomitique de la Formation de Solomons Corner à proximité du chevauchement. Leur abondance diminue plus on s'éloigne de ce dernier. La roche encaissante semble également exercer un contrôle sur la distribution des veines, qui sont plus abondantes et sans orientation préférentielle dans les unités les plus grossières et plus rares et subparallèles au litage dans les unités plus argileuses et mieux stratifiées.

Deux familles de veines parallèles au litage sont observées dans le mur du chevauchement. La première est composée de veines millimétriques peu abondantes de quelques mètres de longueur au maximum. Ces veines sont omniprésentes dans la Formation de Solomons Corner depuis le chevauchement jusqu'à la ligne de Logan et sont déformées par les plis en Z observés sur le flanc sud du synclinal. Cette famille est donc similaire à celle qui se

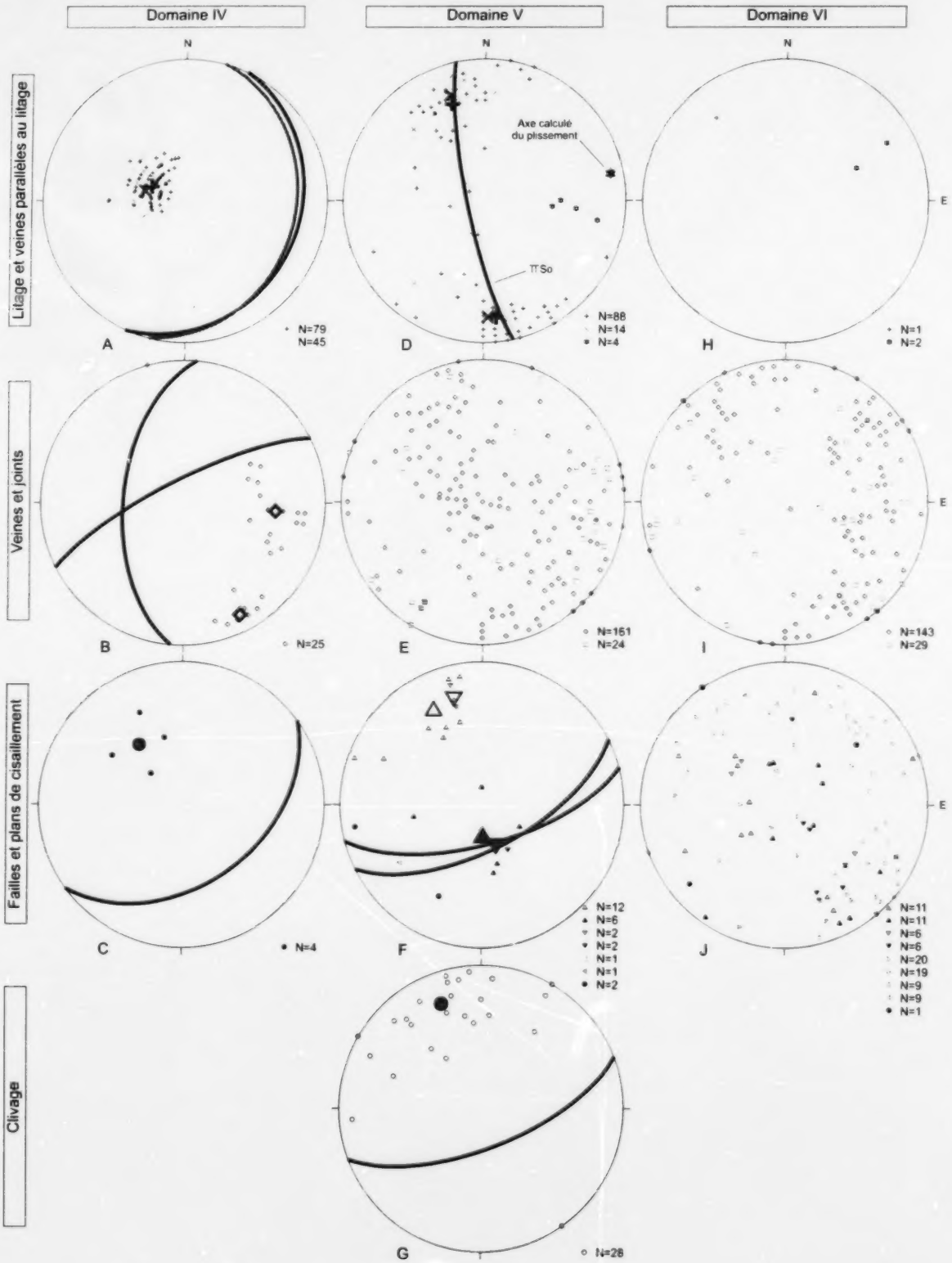

Figure 5. *Synthèse des données structurales obtenues pour les domaines IV à VI. La légende des figurés est identique à celle de la figure 4. Projection équivalente de Schmidt, hémisphère inférieur.*

rencontre dans le cœur du synclinal de Saint-Armand et est antérieure au plissement est-nord-est. La seconde famille de veines parallèles au litage n'est présente que sur le flanc nord de l'anticlinal. Ces veines ont une épaisseur centimétrique et une longueur décamétrique. Elles sont plus abondantes que les premières et pourraient être associées au plissement est-nord-est. Il n'a pas été possible d'observer la continuité de ces veines parallèles au litage de part et d'autre de la charnière.

Un important réseau de veines non parallèles au litage est développé dans le mur du chevauchement (fig. 5E). Ces veines sont sigmoïdales et/ou en échelon et généralement concentrées en faisceaux subparallèles. De nombreuses relations de recoupement ont été observées mais aucune systématique n'a pu être discernée. Il n'est pas encore possible d'associer ces veines à un événement tectonique précis. Un seul réseau de veines a pu être relié avec certitude au plissement est-nord-est. Il comporte deux familles de veines conjuguées formant un angle de 50° entre elles et une famille passant par l'angle aigu entre les deux premières. Ces veines sont systématiquement perpendiculaires au litage et concentrées dans les lits les plus argileux de l'anticlinal.

DOMAINE VI : TERMINAISON NORD

La Formation de Corey ne se rencontre que dans la terminaison nord de l'écaille (fig. 3), dans un synclinal ouvert qui plonge vers l'est-nord-est. Elle affleure très mal et n'est clairement exposée que dans la carrière Graybec (fig. 3). Globensky (1981) montre que les roches de cette formation sont en contact avec celles du domaine parautochtone le long de la ligne de Logan à l'ouest, et sont chevauchées à l'est par les roches de la nappe de Stanbridge (fig. 3). L'examen de décapages récents nous a permis de mettre en évidence la présence de shale apparenté au Groupe de Stanbridge dans la carrière Graybec, ce qui n'avait pas été rapporté par Globensky (1981). Dans la carrière, le calcaire de la Formation de Corey est chevauché par le shale de la nappe de Stanbridge à l'est selon un plan onduleux dont l'attitude est approximativement 030°/25°N, et chevauche les roches du Groupe de Stanbridge vers l'ouest selon un plan nord-est–sud-ouest. Deux failles inverses presque parallèles au litage dans le toit du second chevauchement constituent la seule déformation clairement associée à ce chevauchement. Des stries inverses (135°/40°N et 125°/20°N) ont été reconnues dans le plan du premier chevauchement et une écaille de shale noir a été reconnu dans son mur. Cette écaille est conservée dans un plan de faille inverse au sein du calcaire cristallin et homogène de la Formation de Corey. L'ensemble de l'unité est parcouru par un réseau dense de veines, le plus souvent disposées en échelon. Ce réseau sans orientation préférentielle (fig. 5I) touche de façon identique l'unité calcaire et l'unité dolomitique à la base de la formation. Au sein de l'unité calcaire, on ne reconnaît aucune évolution significative dans l'orientation des fractures entre les deux plans de chevauchement. Un important réseau de veines conjuguées et en échelon est également omniprésent dans la Formation de Corey et témoigne d'un épisode de compaction avec une contrainte principale maximale verticale.

DÉCROCHEMENTS TARDIFS

Des décrochements dextres et senestres (fig. 4C, 5F et 5J) ont été observés dans les formations de Rock River, de Strites Pond, de Solomons Corner et de Corey. La plupart de ces décrochements se présentent sous la forme d'un plan de faille strié, mais dans la carrière Bella Marier, l'un d'eux est également associé à une brèche cataclastique et à une fabrique planaire pénétrative (040°/65°N). Ces failles recoupent les veines à texture fasciculaire associées à la ligne de Logan dans la Formation de Rock River ainsi que les failles et plans de cisaillement associés au chevauchement vers le nord dans la Formation de Solomons Corner. Là où elles sont observables, les relations de recoupement portent à croire que les décrochements recoupent systématiquement les autres éléments structuraux. C'est notamment le cas dans la Formation de Solomons Corner au cœur du synclinal de Saint-Armand, où l'on peut voir des failles dextres recoupant des veines de quartz associées au chevauchement de la Formation de Milton sur le synclinal de Saint-Armand. Certains de ces décrochements sont donc postérieurs à la mise en place de l'écaille le long de la ligne de Logan, au plissement régional et au chevauchement interne.

DISCUSSION

Les relations de recoupement observées sur le terrain permettent de reconnaître la succession des événements tectoniques présentée à la figure 6. Dans la Formation de Strites Pond, les veines à texture fasciculaire associées à la ligne de Logan sont recoupées par un réseau de veines sans orientation préférentielle dont la distribution est indépendante de sa position par rapport à la ligne de Logan. Ce réseau se rencontre dans l'ensemble du synclinal de Saint-Armand. Les veines à texture fasciculaire ont une allure bréchique dans la Formation de Rock River et deviennent rectilignes dans la Formation de Strites Pond. Les fluides impliqués ont pu circuler au sein de cette dernière formation à travers des plans de fracture ou de faiblesse préexistants, peut-être développés lors du plissement régional si celui-ci est antérieur aux chevauchements. Le recoupement du synclinal de Saint-Armand par un chevauchement est-ouest, la faille de Morgan's Corner, appuyerait cette possibilité. L'attitude du litage, des veines parallèles au litage et des plans de cisaillement mesurée sur le flanc ouest du synclinal est modifiée localement par le développement d'un anticlinal dans le toit du chevauchement. Dans le mur de ce dernier, des veines parallèles au litage identiques à celles observées dans le synclinal de Saint-Armand sont déformées par des plis parasites en Z associés au plissement des couches sous l'effet du chevauchement. Des failles dextres et senestres recoupent l'ensemble des structures observées.

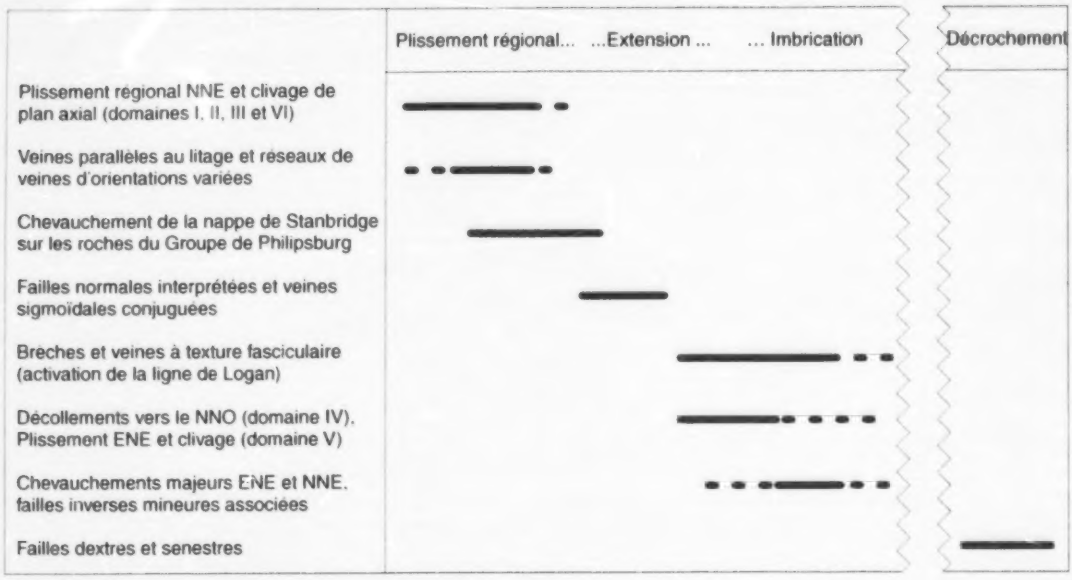

Figure 6. *Histoire tectonique présumée de l'écaille de Philipsburg et relations de recoupement entre les principaux éléments structuraux observés au cours de la présente étude.*

La disposition de la Formation de Corey au milieu des roches du Groupe de Stanbridge, et non entre la nappe de Stanbridge et la plate-forme comme c'est le cas pour l'ensemble de l'écaille, et la présence d'un copeau de shale noir au sein du calcaire pur de la Formation de Corey fournissent des informations complémentaires sur l'histoire tectonique de l'écaille. Nous suggérons qu'une telle imbrication a pu se produire en trois étapes : 1) la nappe de Stanbridge chevauche la Formation de Corey dans un premier temps; 2) localement, la surcharge tectonique provoque des effondrements et des failles normales; et 3) une seconde phase compressive inverse les failles normales, piégeant des copeaux de shale dans les plans de faille. Très peu de failles normales ont été observées dans l'écaille. Si elles ont existé, nombre d'entre elles ont peut-être été réactivées lors de la seconde phase compressive ou à la faveur des décrochements tardifs. Une étude détaillée de la géométrie des failles de l'écaille, notamment dans la terminaison nord, devrait apporter des informations supplémentaires quand à la réactivation d'éventuelles failles normales. L'existence d'un épisode d'extension est également confirmée par la présence de veines sigmoïdales conjuguées dans la Formation de Corey, dont l'orientation correspond à une contrainte principale maximale subverticale.

Les relations de recoupement entre les structures mégascopiques figurées par Globensky (1981) dans le sud-est de l'écaille concordent avec la succession d'événements proposée pour la Formation de Corey. Le chevauchement du synclinal de Saint-Armand par la nappe de Stanbridge puis le chevauchement de ces deux structures par le synclinal du domaine II font écho à l'imbrication que nous décrivons dans le nord de l'écaille. Le chevauchement de ces structures par les roches de la Formation de Milton et du Groupe de Stanbridge sus-jacent n'est pas incompatible avec la chronologie établie pour le nord de l'écaille et peut être contemporain de l'un ou l'autre des épisodes compressifs.

Selon le modèle tectonique élaboré par Charbonneau (1980) pour la partie est de l'écaille et pour les nappes de Stanbrige et d'Oak Hill situées plus à l'est, les roches du Groupe de Philipsburg ont été plissées avant leur écaillage au moment d'être chevauchées par la nappe de Stanbridge. L'écaillage serait survenu lors d'un second épisode compressif, les roches des groupes de Philipsburg et de Stanbridge chevauchant alors les roches de la plate-forme autochtone. Une telle interprétation est compatible avec les données obtenues dans le nord et le sud-est de l'écaille dans le cadre de la présente étude. La seule divergence entre nos observations et celles de Charbonneau (1980) réside dans l'expression de la déformation associée à la seconde phase compressive. Charbonneau (1980) reconnaît en effet des plis P_2 dans le synclinal du domaine II, en observant que la surface du clivage régional est plissée. Nous avons observé que la réfraction du clivage dans du calcaire plus ou moins argileux et n'avons pas reconnu de pli P_2 sur le terrain.

Le modèle proposé par Charbonneau (1980) implique que les chevauchements vers l'ouest à l'arrière et au front de l'écaille, et vers le nord au sein de celle-ci, sont postérieurs au plissement régional et pénécontemporains de ce plissement. Nos observations confirment en partie ce modèle. Pour le valider, il reste à établir le lien entre la ligne de Logan et les autres chevauchements et à déterminer précisément la relation entre le plissement régional et les failles majeures. L'examen détaillé de certaines structures et la caractérisation des fluides impliqués dans la cimentation des fractures pourraient aider à vérifier ce lien. En particulier, nous

suggérons d'étudier les plans de glissement banc-sur-banc, les diverses générations de veines à proximité des chevauchements, les veines de quartz dans la Formation de Solomons Corner au cœur du synclinal de Saint-Armand et les veines à texture fasciculaire communes au toit de la ligne de Logan et au mur du chevauchement est-ouest. L'étude des données sismiques existantes devrait également contribuer à mieux comprendre les relations qui existent entre les principaux éléments structuraux.

CONCLUSIONS

Les travaux de terrain effectués au cours de l'été 2000 ont permis de reconnaître les divers styles et éléments structuraux dans l'écaille de Philipsburg. Le synclinal de Saint-Armand est caractérisé par un axe à orientation 016°/22°N (fig. 4A) et un clivage de plan axial (044°/64°N, fig. 4D) particulièrement développé dans le calcaire argileux des formations de Wallace Creek et de Solomons Corner. Un important réseau de fractures, sans orientation préférentielle, est commun aux unités dolomitiques et dans une moindre mesure aux unités de calcaire pur. Des veines parallèles au litage sont développées dans le calcaire argileux des formations de Solomons Corner, de Wallace Creek et de Strites Pond. Dans cette dernière formation, elles témoignent d'un glissement banc-sur-banc selon un mouvement inverse vers le front de l'écaille et sont associées à des plis d'entraînement asymétriques déversés dans la même direction ainsi qu'à des plans de cisaillement indiquant un mouvement normal vers l'arrière-pays.

La déformation le long de la ligne de Logan est soulignée par une foliation intense des roches de la Formation de Rock River et par un important réseau de veines de dolomite à texture fasciculaire comportant au moins deux générations de ciment. Ces veines empruntent localement des fractures ou des plans de faiblesse préexistants.

Les parties est et nord de l'écaille sont caractérisées par de multiples chevauchements vers l'ouest qui font penser que deux phases de compression ont déformé l'écaille et ont été séparées par un épisode d'extension dont l'existence est déduits à partir des structures observées dans le domaine VI. L'anticlinal du domaine III (fig. 3) est traversé par des veines de quartz perpendiculaires à l'axe du pli (123°/80°N, fig. 4J) et chevauche un petit synclinal (domaine II) composé des formations de Wallace Creek et de Morgan Corner, au sein duquel on reconnaît un clivage de plan axial (002°/24°N, fig. 4H) et des veines de calcite parallèles à l'axe du pli (202°/73°N, fig. 4F). Les veines de quartz de la Formation de Milton se retrouvent dans le calcaire argileux de la Formation de Solomons Corner dans le mur du chevauchement.

Le nord de l'écaille est segmenté par de nombreux chevauchements vers le nord dont le mieux exposé est la faille de Morgan's Corner, qui limite le synclinal de Saint-Armand. Les roches du toit sont très peu déformées. Le mur de ce chevauchement est plissé selon un axe de 078°/20°N (fig. 5D) en un synclinal et un anticlinal aux flancs redressés et localement inversés, aux charnières disséquées par de nombreuses failles inverses à faible rejet.

L'ensemble de ces observations suggère la chronologie des événements présentée à la figure 6. Cette chronologie concorde avec le modèle tectonique élaboré par Charbonneau (1980) pour l'est de l'écaille et les nappes de Stanbridge et d'Oak Hill. Des travaux complémentaires sont néanmoins nécessaires afin de vérifier la validité de ce modèle pour l'ensemble de l'écaille. Nous pensons qu'une meilleure connaissance de la nature et de la température des fluides qui ont circulé dans les fractures associées aux chevauchements et au synclinal de Saint-Armand, combinée à une étude diagénétique des roches encaissantes, pourrait aider à mieux comprendre les mécanismes de fracturation au sein de l'écaille et à les intégrer dans un contexte tectonique et thermique d'échelle régionale. Pour être complète, cette approche devra être combinée à l'étude des indices de maturation de la matière organique dans les roches de l'écaille et de la nappe de Stanbridge. Cela permettrait de vérifier si le plissement est antérieur ou postérieur à l'enfouissement sous les nappes et aiderait à reconnaître des variations dans la maturation des roches de la nappe de Stanbridge entre l'arrière de l'écaille et de la klippe qui la surmonte.

La combinaison des analyses structurale, géochimique et thermique de l'écaille de Philipsburg et la comparaison des résultats avec les résultats obtenus pour l'écaille de Saint-Dominique (Séjourné, 2000) permettront de mieux comprendre les processus qui contrôlent le mode de fracturation dans les écailles parautochtones d'une zone de failles imbriquées et de rationaliser la recherche et le stockage des hydrocarbures dans les roches de ces écailles.

REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le cadre du Projet de l'avant-pays appalachien et de la Plate-forme du Saint-Laurent du CARTNAT. Il est financé par la contribution CARTNAT #990001 ML. Les auteurs remercient en outre les propriétaires des carrières visitées pour l'accès dont ils ont bénéficié. Ils tiennent aussi à remercier Mona Baker pour son assistance sur le terrain, ainsi que messieurs Andrew McIntosh, Gaétan Lachambre et Alain Tremblay, qui ont accepté de partager leurs connaissances de la région et quelques-uns de leurs secrets. Alain Tremblay et Daniel Lebel ont également accepté de faire une lecture critique du manuscrit.

RÉFÉRENCES

Charbonneau, J.-M.
1980 : Région de Sutton ouest; ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DPV-681.

Globensky, Y.
1981 : Régions de Lacolle Saint-Jean(s); ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, RG-197.

Héroux, Y. et Bertrand, R.
1991 : Maturation thermique de la matière organique dans un bassin du Paléozoïque inférieur, Basses-Terres du Saint-Laurent, Québec, Canada; Journal canadien des sciences de la Terre, vol. 28, no. 7, p. 1019–1030.

Séjourné, S.
2000 : Étude structurale et géochimique des veines de l'écaille de Saint-Dominique, Appalaches du sud du Québec; mémoire de maîtrise, INRS-Géoressources, 137 p.

Projet 990003 ML de la Commission géologique du Canada